doi:10.13866/j.azr.2019.04.05

新疆准噶尔盆地未开垦盐碱地土壤重金属评价及其来源①

米晓军[1,2,3]，任　雯[1,2,3]，雒　琼[1,2,3]，马　健[1,2]

（1. 中国科学院新疆生态与地理研究所荒漠与绿洲生态国家重点实验室，新疆 乌鲁木齐　830011；
2. 中国科学院阜康荒漠生态系统国家野外科学观测站，新疆 阜康　831505；3. 中国科学院大学，北京　100049）

摘　要： 为了解新疆准噶尔盆地未开垦盐碱地土壤中重金属的污染状况，在未开垦盐碱地采集土壤样品，测定汞(Hg)、镉(Cd)、铅(Pb)、铬(Cr)、镍(Ni)、砷(As)和硒(Se) 7种重金属元素的含量。运用多元统计分析方法、污染指数评价方法，并结合新疆土壤背景值(Se采用乌鲁木齐市背景值)对不同土层(0～20 cm,20～40 cm)进行调查和评价，并对重金属的来源进行分析。结果表明：研究区土壤中Hg、Cd、Pb、Cr、Ni、As、Se 7种重金属元素在0～20 cm土层平均值为0.023、0.165、17.999、62.587、29.928、16.325 $mg \cdot kg^{-1}$和0.696 $mg \cdot kg^{-1}$；在20～40 cm土层土壤中平均值为0.021、0.148、17.497、61.091、29.995、17.384 $mg \cdot kg^{-1}$和0.634 $mg \cdot kg^{-1}$。除Pb元素外，其他元素均不同程度超过对应的新疆土壤背景值，7种元素在2个土层中无污染、轻度污染样点所占比例分别为66.2%～100%和74.7%～100%；内梅罗综合污染指数评价结果以轻度污染为主，2个土层轻度污染样点占比均为78.4%。Cd、As、Se重金属元素的来源以自然因素为主，主要与土壤母质的组成和性质有关，影响因素包括山地岩石风化和季节性洪水搬运等；Cr、Pb、Hg元素的来源主要受人为因素的影响，工业开发、交通运输、煤炭燃烧产生的烟气中所携带的重金属沉降到土壤中，是造成未被开垦和破坏的自然盐碱地土壤背景值升高的主要原因；而Ni元素的来源可能是人为因素和自然因素共同作用的结果。

关键词： 盐碱地；土壤重金属；背景值；污染评价；来源分析；准噶尔盆地

土壤中的某些微量元素是动植物生长发育过程中不可或缺的，一旦缺乏或过量都有可能对动植物甚至人类的健康产生影响。土壤重金属不仅影响土壤的质量，还会对动植物生存的环境产生影响，进而间接影响人类的健康[1-4]。随着社会经济的快速发展，高强度的人类活动对土壤造成了污染，与此同时，人们的环保意识也在提高，土壤重金属污染日益受到人们的关注[5]。

土壤重金属污染隐蔽性强，难以快速迁移和扩散到其他区域，一般会在土壤中停留很长时间[6-7]。当前的土壤保护研究大量涉及重金属污染问题，主要包括重金属在土壤中的空间分布、植物保护等。如王海江等[8]研究指出，在玛纳斯河流域与未开垦荒地相比，长期连作的棉田土壤中Cd和Cu的含量因化肥的大量使用而显著增加；刘芳等[9]研究得出，煤炭产业区给周围临近土地带来重金属污染；夏楠等[10]研究发现卡拉麦里南部工业区梭梭和琵琶柴植株体内的重金属含量超标，但这些研究大多集中在人类活动影响强烈的城市、农田、矿区等，如王幼奇等[11]对银川市不同功能区土壤重金属含量分布的研究，王玉军等[12]对徐州农田土壤养分和重金属含量与分布的研究，Panov等[13]对俄罗斯煤田周围土壤重金属含量分布的研究等，目的在于评估人类活动影响下土壤资源的合理利用以及土壤环境质量的保持，而对人为干扰较弱的自然地域的研究则相对缺乏。自然地质背景和人类活动的强度是影响土壤中重金属含量的主要因素。在远离受人类活动直接影响的生态脆弱地区，土壤中重金属的含量和分布是否明显受到人类活动的影响值得关注。

准噶尔盆地环境生态脆弱，环境容量和承载力较小。准噶尔盆地南缘的天山经济带集中了新疆经济总量的80%以上，工业的70%以上，是“西部大开

① 收稿日期：2018-10-16；　修订日期：2019-03-07
基金项目：国家科技基础性工作专项(2015FY110500)
作者简介：米晓军(1994-)，硕士研究生，主要研究方向为荒漠生态土壤重金属污染. E-mails:mixiaojun17@mails.ucas.ac.cn
通讯作者：马健. E-mail:majian@ms.xjb.ac.cn

发”“丝绸之路经济带”建设的重点区域[14]。对准噶尔盆地未开垦土壤中的重金属污染进行调查和评价,这对人类健康,生态健康以及经济和社会的持续稳定发展具有重要意义。

本文以准噶尔盆地未被开垦和破环的盐碱地为研究区域,人类活动的干扰相对较小,以土壤中重金属元素的污染状况及来源为研究对象,运用多元统计分析方法、污染指数法,并结合新疆土壤背景值来评价“西部大开发”“丝绸之路经济带”建设不断推进、区域内人类活动不断增强的情况下,干旱区绿洲盆地盐碱地中重金属的含量及污染状况。

1　材料与方法

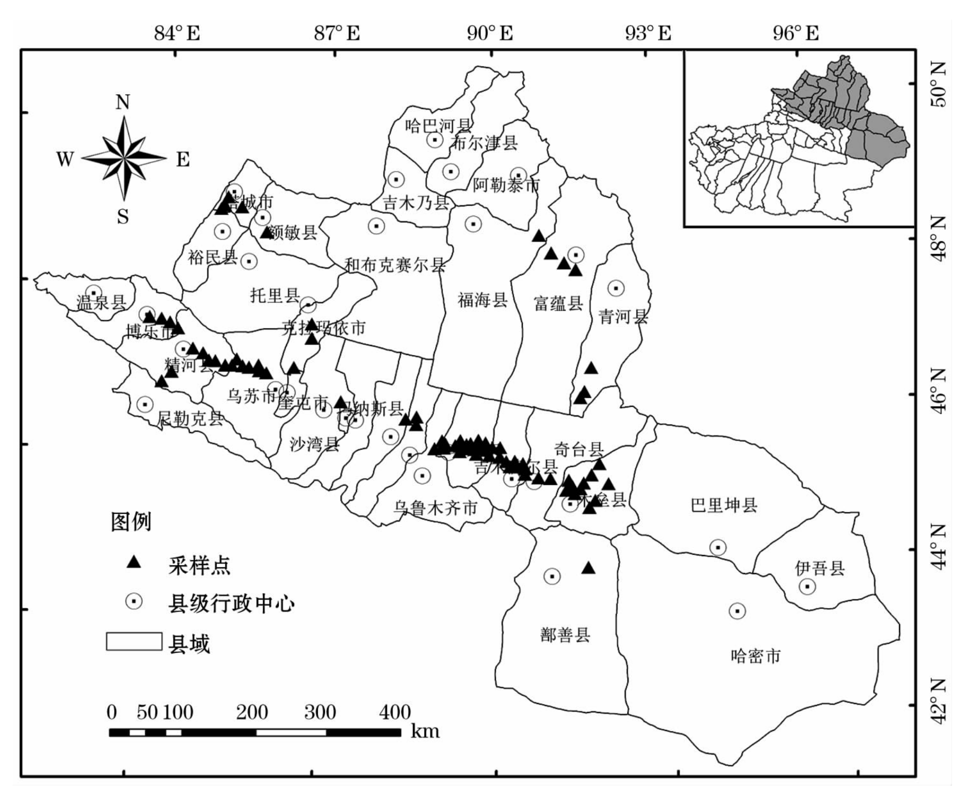
1.1　研究区概况

研究区域位于新疆准噶尔盆地[15],面积约 3.8×10^5 km^2,平均海拔 400 m,边缘为绿洲,中心为古尔班通古特沙漠。夏季炎热干燥,冬季寒冷,年平均气温 6 ~ 10 ℃,冬季采暖期为每年 10 月初至次年 4 月。年蒸发量 2 000 mm,年降水量 150 ~ 300 mm,沙漠腹地仅约 70 mm,为典型的温带大陆性干旱气候。采样区域生长原始植被以盐生耐旱植物为主,如多枝柽柳(*Tamarix ramosissima*)、梭梭(*Haloxylon ammodendron*)和琵琶柴(*Reaumuria songonica*)等典型荒漠灌木、半灌木。土壤类型为正常干旱土(灰漠土),棕灰色,pH 值为 8 ~ 9,土壤母质多为冲积 - 洪积物。盆地内石油、煤炭、天然气等自然资源丰富,乌鲁木齐、克拉玛依、阜康等地是我国重要的能源化工基地。

所有采样点均选择未被开垦和破坏的自然盐碱地,远离城镇、农田、矿区等人类活动影响强烈的地区。由于研究区内大面积的农业开垦活动对采样点选择的限制,采样点呈条带状分布,海拔 200 ~ 1 000 m。采样区域覆盖 2 市、3 个自治州、2 个地区(图 1)。

1.2　样品采集与处理

从 2016 年 8 月至 2018 年 7 月对准噶尔盆地盐碱地进行现场考察,为了解重金属在土壤中不同深度的积累情况,分别采集 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层的土壤样品。采样过程中,每个样点采用 10 m × 10 m 内“梅花形”布设 5 个子样点,每个子样点使用木制取样器分别采集 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层土壤 200 g 左右,将同一土层土壤充分混合后,采用四分法留取500 g左右土壤装入洁净自封塑料袋



注:以审图号为新 S(2016)250 号地图为底图绘制。

图 1　研究区及土壤采样点分布示意图

Fig. 1　The study area and distribution of soil sampling sites

内。使用 GPS 测定采样点地理坐标,采集 83 个样点的 2 个土层(0~20 cm、20~40 cm)共 166 个土壤样品。土样在实验室自然风干后,捡除动植物残体和石块,用木棍研磨,过 100 目尼龙筛后保存留用。为防止样品被污染,样品采集、保存和处理过程中均使用塑料制品。选择汞(Hg)、镉(Cd)、铅(Pb)、铬(Cr)、镍(Ni)、砷(As)和硒(Se) 7 种元素进行含量测定。Cd、Pb、Cr、Ni、As 采用电感耦合等离子发射光谱法(美国安捷伦 735 ICP-OES)测量;Se 采用电感耦合等离子体质谱法(美国 PE DRC II)测量;Hg 使用赛曼汞分析仪(俄罗斯 LUMEX RA-915M)测量。

1.3 数据处理

采用 Origin Pro 8.0、SPSS 20.0 统计软件对数据进行处理、相关性分析及主成分分析。土壤采样点分布图使用 ArcGIS 10.2 制作。

1.4 评价方法

以新疆土壤背景值[16](新疆土壤背景值缺 Se 元素,采用乌鲁木齐市土壤地球化学背景值[17])作为参比值,采用单因子污染指数法和内梅罗综合污染指数法进行评价。

1.4.1 *单因子污染指数法* 单因子污染指数是目前国内通用的一种重金属污染评价方法,能较直观地反映土壤环境中各项污染指标的情况。计算公式为:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式中:P_i 为重金属元素 i 的单因子指数;C_i 是重金属元素 i 实测值($mg \cdot kg^{-1}$);S_i 是相应土壤元素背景值($mg \cdot kg^{-1}$),文中研究均选择新疆土壤元素背景值($mg \cdot kg^{-1}$)。单因子污染指数法评价标准:$P_i \leq 1$,无污染;$1 < P_i \leq 2$,轻度污染;$2 < P_i \leq 3$,中度污染;$P_i \geq 3$,重度污染[18]。

1.4.2 *内梅罗综合污染指数法* 内梅罗综合污染指数法考虑了各金属元素之间的协同效应,能够反映多种污染物对土壤状况的综合污染程度[19],突出了污染最严重的污染物对环境造成的危害。计算公式为:

$$P_{综} = \sqrt{(P_{imax}^2 + P_{iavg}^2)/2} \quad (2)$$

式中:$P_{综}$ 为内梅罗综合污染指数;P_{imax} 为重金属单因子污染指数最大值;P_{iavg} 是其平均值。内梅罗综合污染指数法评价标准:$P_{综} \leq 1$,无污染;$1 < P_{综} \leq 2$,轻度污染;$2 < P_{综} \leq 3$,中度污染;$P_{综} \geq 3$,重度污染[20]。

2 结果与分析

2.1 土壤重金属元素的统计特征

从表 1 可以看出,准噶尔盆地盐碱地土壤 0~20 cm 土层中 Hg、Cd、Pb、Cr、Ni、As 和 Se 含量变化幅度较大,分别为 0.006~0.052、0.054~1.481、6.865~27.591、2.963~97.756、12.924~134.233、7.425~72.686、0.001~2.997 $mg \cdot kg^{-1}$。Hg、Cd、Pb、Cr、Ni、As 和 Se 含量的平均值为 0.023、0.165、17.999、62.587、29.928、16.325、0.358 $mg \cdot kg^{-1}$。

Pb 和 Cr 的偏度系数为负值,其分布峰为左偏。其他元素的偏度值为正值,表现为右偏。根据对变异程度的不同分类[21],Hg、Pb 和 Cr (0.348、0.229 和 0.243)为中等变异($0.15 < C_v < 0.36$),Cd、Ni、As 和 Se (0.927、0.456、0.635 和 1.095)为高变异($C_v > 0.36$)。变异系数越大,表明元素在各个采样

表 1 0~20 cm 土层土壤重金属含量统计($n=83$)

Tab. 1 Heavy metal contents in soil 0-20 cm in depth ($n=83$)

元素	最小值/($mg \cdot kg^{-1}$)	最大值/($mg \cdot kg^{-1}$)	平均值/($mg \cdot kg^{-1}$)	标准误差/($mg \cdot kg^{-1}$)	偏度系数	峰度系数	变异系数	新疆土壤背景值/($mg \cdot kg^{-1}$)
Hg	0.006	0.052	0.023	0.008	0.606	1.567	0.348	0.017
Cd	0.054	1.481	0.165	0.153	7.960	68.916	0.927	0.12
Pb	6.865	27.591	17.999	4.122	-0.514	0.907	0.229	19.40
Cr	2.963	97.756	62.587	15.189	-0.944	2.607	0.243	49.30
Ni	12.924	134.233	29.928	13.660	5.839	42.782	0.456	26.60
As	7.425	72.686	16.325	10.368	3.369	13.426	0.635	11.20
Se	0.001	2.997	0.358	0.392	4.263	25.807	1.095	0.20

注:Se 采用的是乌鲁木齐市背景值。下同。

表 2　20 ~ 40 cm 土层土壤重金属含量统计(n =83)

Tab. 2　Heavy metal contents in soil 20 – 40 cm in depth (n =83)

元素	最小值/(mg · kg⁻¹)	最大值/(mg · kg⁻¹)	平均值/(mg · kg⁻¹)	标准误差/(mg · kg⁻¹)	偏度系数	峰度系数	变异系数	新疆土壤背景值/(mg · kg⁻¹)
Hg	0.004	0.075	0.021	0.010	1.872	7.420	0.467	0.017
Cd	0.027	0.571	0.148	0.075	3.899	19.799	0.506	0.12
Pb	6.774	28.171	17.497	3.729	-0.646	1.262	0.213	19.40
Cr	2.963	91.328	61.091	14.997	-1.126	2.306	0.245	49.30
Ni	8.770	142.246	29.995	14.398	5.972	45.902	0.480	26.60
As	4.009	162.133	17.384	17.750	6.962	55.880	1.021	11.20
Se	0.000	2.781	0.323	0.426	4.300	21.502	1.319	0.20

表 3　不同土层土壤重金属含量水平

Tab. 3　Heavy metal contents in different soil layers　/(mg · kg⁻¹)

深度/cm	Hg	Cd	Pb	Cr	Ni	As	Se
0 ~ 20	0.023 ± 0.008a	0.165 ± 0.153a	17.999 ± 4.122a	62.587 ± 15.189a	29.928 ± 13.660a	16.325 ± 10.368a	0.358 ± 0.392a
20 ~ 40	0.021 ± 0.010a	0.148 ± 0.075a	17.497 ± 3.729a	61.091 ± 14.997a	29.995 ± 14.398a	17.384 ± 17.750a	0.323 ± 0.426a

注:同列相同字母表示处理间差异不显著(P > 0.05)。

点中含量差异越大[22]。因研究区域降水量少,重金属元素可能因不易迁移而点状聚集,Cd、Ni、As 和 Se 元素表现出明显的聚集分布。

从表 2 可以看出,研究区 20 ~ 40 cm 土层土壤中 Hg、Cd、Pb、Cr、Ni、As 和 Se 的含量变化幅度分别为 0.004 ~ 0.075、0.027 ~ 0.571、6.774 ~ 28.171、2.963 ~ 91.328、8.770 ~ 142.246、4.009 ~ 162.133、0.000 ~ 2.781 mg · kg⁻¹。Hg、Cd、Pb、Cr、Ni、As 和 Se 含量的平均值为 0.021、0.148、17.497、61.091、29.995、17.384、0.323 mg · kg⁻¹。

Pb 和 Cr 的偏度系数为负值,其分布峰为左偏。其他元素的偏度值为正值,表现为右偏。Pb (0.213) 和 Cr (0.245) 为中等变异,其他元素为高变异。

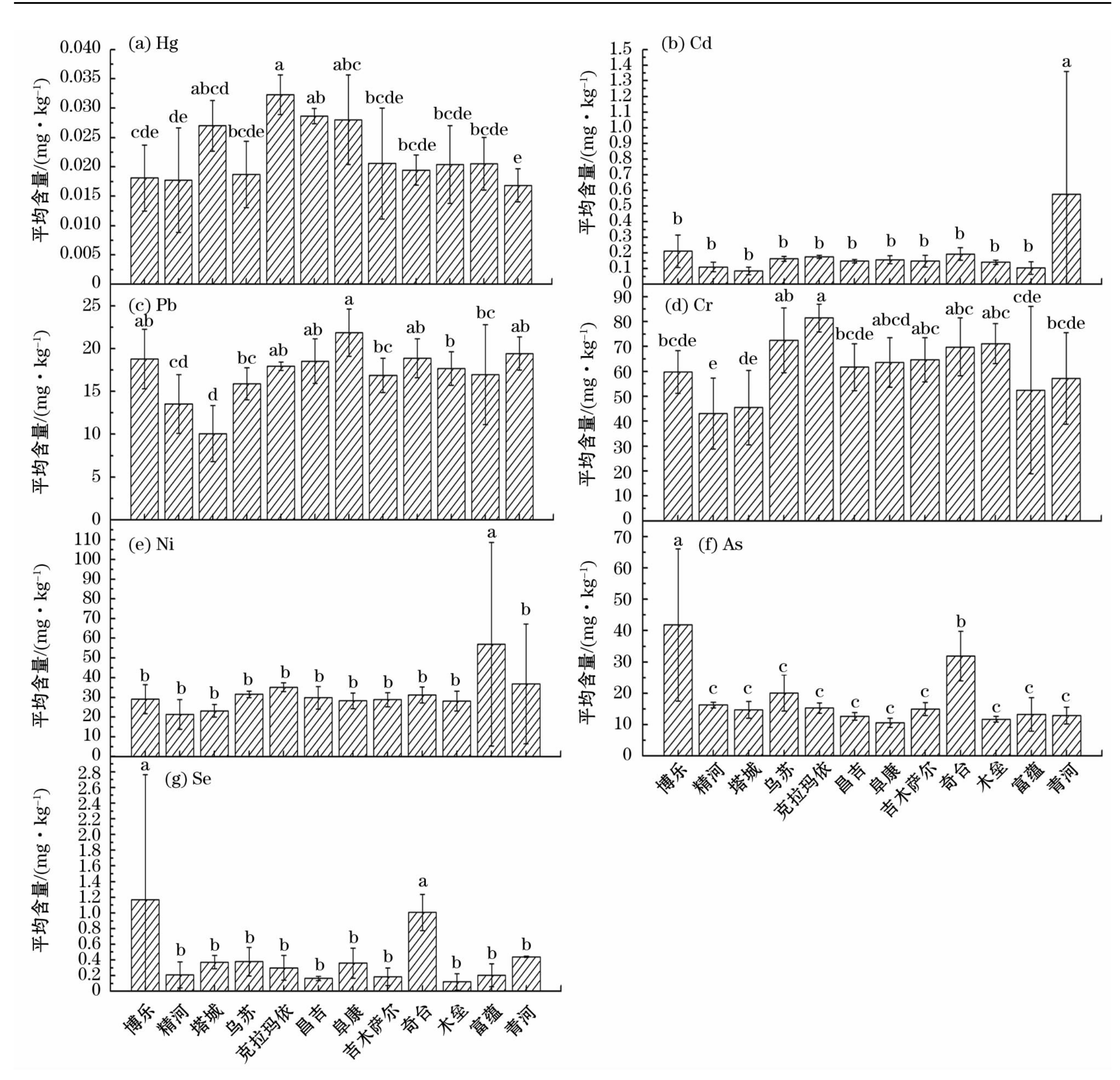
对比 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 土层土壤的重金属含量特征,Hg、Cd、Pb、Cr、Ni、As 和 Se 含量的平均值基本相等(表 3),Hg、Cd、Pb、Cr 和 Se 在 20 ~ 40 cm 土层中的平均值略低于 0 ~ 20 cm 土层,这与陈志凡等[23]研究得出 Pb 在表层土壤中的含量比底层略高的结果相一致,表明在 0 ~ 40 cm 土层中重金属纵向分布较均匀,这些元素在 0 ~ 20 cm 土层中积累。Ni 和 As 在 20 ~ 40 cm 土层中的平均值略高于 0 ~ 20 cm 土层,在 20 ~ 40 cm 土层中积累;刘再冬等[24]也研究得出,As 在 30 cm 土层以下随着深度的增加而升高。Pb 的平均值在 0 ~ 40 cm 土层中都低于新疆土壤背景值,张兆永等[14]在研究天山山地表层土壤重金属的污染时也得出同样的结果。

2.2　各市县土壤重金属含量比较

为了解各市县土壤重金属含量分布的差异,对其进行多重比较(图 2),结果表明不同地区土壤重金属含量差异较大。Hg 元素含量较高的点主要分布在塔城、克拉玛依、昌吉、阜康等地,而最低浓度出现在青河。青河 Cd 元素含量显著高于其他地区。Pb 元素含量较高的点主要分布在博乐、阜康等地,其元素含量显著高于精河、塔城等。对于 Cr 元素,含量较高的点主要分布在克拉玛依、乌苏等地,同样显著高于精河、塔城等地。富蕴县 Ni 元素的平均含量显著高于其他所有市县。对于 As 元素而言,博乐市含量显著高于奇台县,而二者又显著高于其他市县。Se 元素含量高的点主要分布在博乐市、奇台县,其含量显著高于其他市县。

2.3　土壤重金属元素污染评价

根据新疆土壤背景值分别计算得出各种重金属在每个样点的单因子污染指数(P_i),不同级别污染样点所占比例见表 4,7 种被测重金属在不同土层中存在不同程度的污染。在 0 ~ 20 cm 土层中,Hg、Cd、Cr、Ni 和 As 的大部分样点属于轻度污染,轻度污染样点占总数的 69.9%、73.5%、84.3%、60.2% 和 64.6%;Pb 大部分样点属于无污染,无污染样点占总数的 65.1%;Se 无污染和轻度污染的样点数大致相等,占总数的 37.5% 和 31.2%。Pb 和 Cr 在 0 ~ 20 cm土层中没有中度或重度污染的样点,其他



注:不同小写字母表示各市县重金属平均含量差异显著($P<0.05$)。

图 2 各市县重金属平均含量

Fig. 2 Average heavy metal contents in different counties and cities

元素存在少量中度或重度污染的样点。20~40 cm 土层中不同级别污染样点所占比例与 0~20 cm 土层大致相同,污染程度略有减轻,无污染或轻度污染样点所占比例升高,中度或重度污染样点所占比例降低。

由表 4 可以看出,在 0~20 cm 和 20~40 cm 土层中内梅罗综合污染指数($P_{综}$)的评价结果以轻度污染为主,轻度污染样点均占总数的 78.4%;2 个土层中都存在少量中度或重度污染样点,但仅在 20~40 cm 土层中存在极少量的无污染样点。

从表 5 可以看出,0~20 cm 土层中各种重金属元素 P_i 依次为:Se(1.79)>As(1.46)>Cd(1.38)>Hg(1.35)>Cr(1.27)>Ni(1.13)>Pb(0.93);20~40 cm 土层中各重金属元素 P_i 依次为:Se(1.62)>As(1.55)>Hg(1.24)=Cr(1.24)>Cd(1.23)>Ni(1.13)>Pb(0.90)。在 0~20 cm 和 20~40 cm 土层中 Se、As、Hg、Cr、Cd 和 Ni 呈现轻度污染,Pb 无污染。0~20 cm 土层中重金属 $P_{综}$ 变化介于 1.10~10.90 之间,平均值为 2.04,属于中度污染。20~40 cm 土层中重金属 $P_{综}$ 介于 0.68~10.71之间,平均值为 1.94,属于轻度污染。

对比 0~20 cm和 20~40 cm土层重金属P_i和

表 4　不同土层不同级别污染样点数占总数的比例

Tab. 4　Proportions of sampling sites with different pollution levels in different soil layers

指数	元素	0～20 cm 不同级别污染样点比例/%				20～40 cm 不同级别污染样点比例/%			
		无污染	轻度污染	中度污染	重度污染	无污染	轻度污染	中度污染	重度污染
P_i	Hg	22.9	69.9	6.0	1.2	36.1	55.4	7.2	1.2
	Cd	21.7	73.5	3.6	1.2	21.7	73.5	2.4	2.4
	Pb	65.1	34.9	0	0	73.5	26.5	0	0
	Cr	15.7	84.3	0	0	16.7	83.1	0	0
	Ni	37.3	60.2	1.2	1.2	31.3	67.5	1.2	0
	As	21.9	64.6	8.5	4.9	19.5	68.3	6.1	6.1
	Se	37.5	31.2	18.8	12.5	45.0	32.5	12.5	10.0
$P_{综}$	–	0	78.4	10.8	10.8	2.4	78.4	10.8	8.4

注:P_i 表示单因子污染指数,$P_{综}$ 表示内梅罗综合污染指数;各土层样点总数 $n=83$。

表 5　不同土层重金属污染情况

Tab. 5　Levels of heavy metal pollution in different soil layers

深度/cm	n	P_i							$P_{综}$		
		Hg	Cd	Pb	Cr	Ni	As	Se	变化范围	平均值	污染等级
0～20	83	1.35	1.38	0.93	1.27	1.13	1.46	1.79	1.10～10.90	2.04	中度污染
20～40	83	1.24	1.23	0.90	1.24	1.13	1.55	1.62	0.68～10.71	1.94	轻度污染

$P_{综}$可以看出，各土层 Hg、Cd、Pb、Cr、Ni、As 和 Se 的污染指数基本相等,说明在 0～40 cm 土层中重金属的污染情况比较均一,由于重金属的垂直分布比较均匀,故不同土层的评价结果基本一致。除 As 元素的 P_i 从 0～20 cm 土层的 1.46 升高到 20～40 cm 土层的 1.55 之外,其他元素均呈现下降趋势。0～20 cm、20～40 cm 土层 $P_{综}$的变化范围和平均值也呈现下降趋势。

总体来看,准噶尔盆地未开垦盐碱地的重金属污染状况相对较轻。P_i 评价结果除个别样点呈中度、重度污染外,大部分样点处于无污染或轻度污染状态。在综合考虑所有被测元素间的协同效应后,$P_{综}$ 的评价结果与 P_i 的评价结果基本相同,主要为轻度或中度污染。由于研究区域地处生态脆弱区,对环境污染的承受能力有限,轻微污染也可能导致严重的后果,所以,对准噶尔盆地的重金属污染问题应给予高度重视。

2.4　土壤重金属元素来源解析

多元统计分析法可以用来判别土壤中重金属的来源。元素地球化学理论认为,来源相似的元素之间相关性较高, 因此,在统计分析中重金属含量相关性高,意味着元素之间具有一致性。

从表 6 可以看出,Cr 与 Pb,Ni 与 Cd,As 与 Cd,Se 与 Cd、Ni、As 存在极显著相关关系($P<0.01$),其中 Se 与 Ni 的相关系数最低,为 0.337,Se 与 Cd 的相关系数最高,为 0.960,相关系数介于 0.337～0.960 之间(表 6)。

表 7 表明,Ni 与 Hg、Cd、Pb、Cr、As 和 Se 间均无极显著相关关系($P>0.01$)。Pb 与 Cd,Cr 与 Hg、Pb,As 与 Cd,Se 与 Cd、As 在 0.01 的水平上显著相关,其中 Pb 与 Cd 的相关系数最低,为 0.288,Se 与 Cd、As,Cd 与 As 的相关性较高,分别为 0.869、0.959 和 0.829,相关系数介于 0.288～0.959 之间(表 7)。

综合 2 个土层重金属元素之间的相关系数可以初步推断,土壤中 Se、As 和 Cd 元素地球化学性质相近,在相同的外界条件下其变化趋势基本一致,具

表 6　0～20 cm 土层土壤重金属元素相关关系矩阵

Tab. 6　Correlation matrix of heavy metals in soil 0－20 cm in depth

元素	Cd	Pb	Cr	Ni	As	Se
Hg	−0.013	0.225*	0.239*	−0.040	−0.279*	−0.125
Cd		0.273*	0.273*	0.355**	0.635**	0.960**
Pb			0.538**	0.000	0.031	0.161
Cr				−0.038	0.082	0.115
Ni					0.060	0.337**
As						0.886**

注:* 代表在 0.05 水平(双侧)上显著相关,** 代表在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

表7 20～40 cm 土层土壤重金属元素相关关系矩阵

Tab.7 Correlation matrix of heavy metals in soil 20－40 cm in depth

元素	Cd	Pb	Cr	Ni	As	Se
Hg	0.140	0.204	0.451**	0.147	0.192	0.120
Cd		0.288**	0.268*	0.181	0.829**	0.869**
Pb			0.529**	－0.056	0.091	0.020
Cr				－0.043	0.137	0.005
Ni					0.224*	0.173
As						0.959**

注：*代表在0.05水平(双侧)上显著相关，**代表在0.01水平(双侧)上显著相关。

有相同的来源，可能与成土基质有关。而其他元素之间的相互关系不够明确。

为进一步了解各重金属之间的相互关系和来源，进行主成分分析[25]。结果表明，在0～20 cm和20～40 cm土层中，二者前3个主成分特征值都大于或近似为1，分别累积解释了总方差的80.207%和81.457%(表8)，符合分析要求，对所有指标给出了比较充分的概括。随着土层的加深，主成分分析解释的程度更加集中，F1的方差贡献率升高，F2和F3的方差贡献率降低，表明深层土壤所受干扰更小。

从表9可以看出，在0～20 cm土层中，F1的方差贡献率主要由Cd、As和Se构成，荷载系数分别为0.944、0.790和0.819，贡献率为39.642%，表明Cd、As和Se之间具有高度的同源性。F2的方差贡献率主要由Hg、Pb和Cr构成，荷载系数分别为0.691、0.613和0.658，贡献率为26.277%，表明Hg、Pb和Cr具有相同的来源。F3的方差贡献率主要由Ni构成，荷载系数为0.976，贡献率为14.288%，表明其具有单独的来源。

从表10可以看出，在20～40 cm土层中，F1的方差贡献率主要由Cd、As和Se构成，荷载系数分别为0.944、0.876和0.878，贡献率为44.997%，表明Cd、As和Se之间具有高度的同源性。F2的方差贡献率主要由Pb和Cr构成，荷载系数分别为0.674和0.737，贡献率为22.402%，表明Pb和Cr具有相同的来源。F3的方差贡献率主要由Ni构成，荷载系数为0.752，贡献率为14.058%，表明其具有单独的来源。

综合表9和表10，在0～40 cm土层中，Cd、As和Se具有相同的来源，Pb和Cr具有相同的来源，Ni只有单独的来源，而Hg在不同土层具有不同的来源。根据相关文献，王琪等[26]在研究新疆伊犁州各市县土壤中Se元素的分布时得出，Se元素的含量主要与成土母质的组成和性质有关；张兆永等[27]在研究天山土壤微量(类)重金属的来源时发现Cu、Ni、As等元素来源于土壤母质；姚峰等[28]在研究新疆准东煤田土壤重金属来源时得出，Cu、Ni等元素同样来源于土壤母质，上述研究区域距离本次研究区域较近或包含在本次研究区域内，对推断重金属的来源具有参考意义。同时，考虑到Cd、As、Se元素含量较高的点主要分布在青河、富蕴、奇台等以畜牧业为主的地区，上述地区工业发展相对落后，荒

表8 不同土层土壤7种元素间的相关矩阵特征值和方差累积贡献率

Tab.8 Eigenvalues and cumulative contribution rates of the correlation matrix among seven elements in different soil layers

成分	0～20 cm			20～40 cm		
	特征值	方差贡献率/%	方差累积贡献率/%	特征值	方差贡献率/%	方差累积贡献率/%
F1	2.775	39.642	39.642	3.150	44.997	44.997
F2	1.839	26.277	65.919	1.568	22.402	67.399
F3	1.000	14.288	80.207	0.984	14.058	81.457
F4	0.698	9.978	90.185	0.754	10.766	92.223
F5	0.494	7.063	97.248	0.405	5.781	98.003
F6	0.115	1.640	98.889	0.108	1.539	99.543
F7	0.078	1.111	1000.000	0.032	0.457	100.000

注：F1、F2、F3、F4、F5、F6、F7分别表示主成分1、2、3、4、5、6、7。下同。

表9 0～20 cm土层土壤7种元素方差极大旋转因子矩阵

Tab.9 Factor matrix of varimax rotation of seven elements in soil 0－20 cm in depth

成分	Hg	Cd	Pb	Cr	Ni	As	Se
F1	－0.045	0.944	0.571	0.505	0.072	0.790	0.819
F2	0.691	0.170	0.613	0.658	－0.163	－0.524	－0.072
F3	0.168	0.073	0.012	－0.065	0.976	－0.072	－0.060

表10 20～40 cm土层土壤7种元素方差极大旋转因子矩阵

Tab.10 Factor matrix of varimax rotation of seven elements in soil 20－40 cm in depth

成分	Hg	Cd	Pb	Cr	Ni	As	Se
F1	0.474	0.944	0.425	0.484	0.284	0.876	0.878
F2	0.365	－0.016	0.674	0.737	0.337	－0.411	－0.393
F3	0.546	－0.146	－0.200	0.075	0.752	－0.178	－0.147

漠、草地、山间林地等人类活动少、自然环境保持较好的区域分布较广，说明自然地质背景，包括山地母岩矿物的风化、雨水的冲刷等因素导致土壤中重金属元素的累积构成了这 3 种重金属元素的主要来源，因此，可以将 F1 归纳为自然因子。

伊丽米热·阿布达力木等[29]在 2010 年研究了乌鲁木齐市 $PM_{2.5}$ 中重金属的含量时得出，与非采暖期相比，采暖期 $PM_{2.5}$ 颗粒中 Cr、Pb、Hg 的浓度明显升高，而当时尚未进行供暖的煤改气工程，且采暖期长达半年；韩秀凤等[30]在研究包头市街道灰尘中重金属的含量时发现，靠近工业区的街道降尘中 Cr 和 Hg 等元素显著高于该地域土壤背景值。同时，考虑到 Cr、Pb、Hg 元素含量较高的点主要分布在阜康、克拉玛依等工业发展水平较高的地区，上述地区人口较多，区域内分布有大型石油化工、煤化工企业，交通网络密集，根据以上分析推测，研究区域内土壤中 Cr、Pb、Hg 等元素超过环境背景值的部分主要来源于工业、交通、燃煤等人为污染源，文雯等[31]在研究石河子垦区耕地土壤时，以及王济等[32]在研究贵阳市城区土壤时也得出类似结论，故可将 F2 概括为人为因子。

主成分分析的结果表明，Ni 元素只有单独的来源，考虑到其在土壤母质中含量丰富，又在煤炭烟灰中有较高浓度的富集，因此推测，土壤中 Ni 元素的来源是人为因素和自然因素共同作用的结果，故将 F3 概括为混合因子。

根据前人的研究结果和本研究的分析，笔者认为准噶尔盆地未开垦盐碱地重金属的来源主要与土壤母质有关，受自然因素的影响，包括山地岩石分化[33]和季节性洪水搬运等，同时人为因素也有一定程度的影响。

3 讨 论

《中国土壤元素背景值》[15]取样标准要求样点位于很少受人类活动影响和不受或未明显受现代工业污染与破坏的区域[34]，这与本研究对样点的选择标准相一致。新疆煤炭资源丰富[35]，被大量开采用于发电、煤化工和冬季采暖，重金属元素在煤炭燃烧过程中释放到大气环境进而沉降到土壤中，经过几十年的积累可能造成了新疆土壤背景值的升高。表层 0 ~ 20 cm 土壤中 Hg、Pb 和 Cr 的含量略高于 20 ~ 40 cm 土壤，这与燃煤烟气沉降的推测相符合。除 Pb 元素外，其他元素都不同程度的超过新疆土壤背景值。

综合来看，污染主要集中在准噶尔盆地南缘的天山经济带，特别是阜康、克拉玛依、博乐等开发强度大的地区。从评价结果可以看出，经济发展程度与土壤中重金属元素含量较高的种类表现出明显的关联性，Hg、Pb、Cr 元素含量较高的点主要分布在工业体系比较完备的克拉玛依、阜康、博乐等地区，而以畜牧业为主的青河、富蕴、奇台等地区，Ni、As、Se 元素的含量较高。

传统上一直认为准噶尔盆地未被开垦和破坏的自然盐碱地受人类活动扰动少，环境状况良好。而评价结果显示，研究区域的土壤已经出现轻度或中度污染现象。但仍低于我国东部经济率先发展的京津冀[36]、长三角、珠三角[37]等地区的北京、天津、唐山、上海、南京[19]、广州、深圳等城市，与研究区内已被建设的城市用地[38]及已被开垦的农业用地[31]相比，污染程度较轻。然而，近年来在绿洲经济的迅速发展过程中，不合理的生产生活方式造成的污染排放，已经对未被开垦和破坏的自然盐碱地土壤环境产生了负面影响。因此，建议密切关注土壤中重金属含量的变化，避免和减少人为因素造成的土壤重金属污染。

4 结 论

（1）以新疆土壤背景值为评价标准，除 Pb 元素外，其他重金属元素含量均超过了对应的新疆土壤背景值。研究区域各重金属元素的单因子污染指数评价结果以无污染或轻度污染为主，在 0 ~ 20 cm 和 20 ~ 40 cm 2 个土层中，7 种元素无污染、轻度污染样点合计所占比例分别为 66.2% ~ 100% 和 74.7% ~ 100%。内梅罗综合污染指数不同污染等级评价结果以轻度污染为主，2 个土层轻度污染样点均占总数的 78.4%，整个研究区域 2 个土层的平均污染指数表现为轻度和中度污染，污染程度较轻。

（2）研究区域 Cd、As、Se 重金属元素的来源以自然因素为主，主要与土壤母质的组成和性质有关，影响因素包括山地岩石风化和季节性洪水搬运等；Cr、Pb、Hg 元素的来源主要受人为因素的影响，工业开发、交通运输、煤炭燃烧产生烟气中所携带的重金属沉降到土壤中，是造成未被开垦和破坏的自然盐碱地土壤背景值升高的主要原因；而 Ni 元素的来源

可能是人为因素和自然因素共同作用的结果。

参考文献(References):

〔1〕 崔斌,王凌,张国印,等.土壤重金属污染现状与危害及修复技术研究进展〔J〕.安徽农业科学,2012,40(1):373－375,447.〔Cui Bin,Wang Ling,Zhang Guoyin,et al. Status and harm of heavy metal pollution in soil and research progress in pemediation technology〔J〕. Journal of Anhui Agriculture Science,2012,40(1):373－375,447.〕

〔2〕 胡汝骥,陈曦,姜逢清,等.人类活动对亚洲中部水环境安全的威胁〔J〕.干旱区研究,2011,28(2):189－197.〔Hu Ruji,Chen Xi,Jiang Fengqing,et al. Threat of human activities to hydrological regime in central Asia〔J〕. Arid Zone Research,2011,8(2):189－197.〕

〔3〕 Chang C Y,Yu H Y,Chen J J,et al. Accumulation of heavy metalsin leaf vegetables from agricultural soils and associated potential health risks in the Pearl River Delta,South China〔J〕. Environmental Monitoring and Assessment,2014,186(3):1 547－1 560.

〔4〕 张阿龙,高瑞忠,张生,等.吉兰泰盐湖盆地土壤铬、汞、砷污染的负荷特征与健康风险评价〔J〕.干旱区研究,2018,35(5):1 057－1 067.〔Zhang A'long,Gao Ruizhong,Zhang Sheng,et al. Pollution load characteristics and health risk assessment of heavy metals Cr,Hg and As in the Jilantai Salt Lake Basin〔J〕. Arid Zone Research,2018,35(5):1 057－1 067.〕

〔5〕 刘浩峰,刘巍,刘玉燕,等.博斯腾湖湿地 Cu、Ni 和 Pb 的分布特征及其生态风险〔J〕.干旱区研究,2017,34(2):390－394.〔Liu Haofeng,Liu Wei,Liu Yuyan,et al. Distribution of Cu,Ni and Pb and ecological riskin the Bosten Lake Wetland〔J〕. Arid Zone Research,2017,34(2):390－394.〕

〔6〕 Zhao F J,Ma Y B,Zhu Y G,et al. Soil contaminationin China:Current status and mitigation strategies〔J〕. Environmental Science & Technology,2015,49(2):750－759.

〔7〕 赵其国,骆永明.论我国土壤保护宏观战略〔J〕.中国科学院院刊,2015,30(4):452－458.〔Zhao Qiguo,Luo Yongming. The macro strategy of soil protection in China〔J〕. Bulletin of Chinese Academy of Sciences,2015,30(4):452－458.〕

〔8〕 王海江,董天宇,朱永琪,等.玛纳斯河流域长期连作棉田土壤重金属剖面分布特征分析〔J〕.农业环境科学学报,2017,36(11):2 216－2 225.〔Wang Haijiang,Dong Tianyu,Zhu Yongqi,et al. Profile distribution of heavy metals in soil from long-term continuous cropping cotton field in Manas River Basin〔J〕. Journal of Agro-Environment Science,2017,36(11):2 216－2 225.〕

〔9〕 刘芳,塔西甫拉提·特依拜,依力亚斯江·努尔麦麦提,等.准东煤炭产业区周边土壤重金属污染与健康风险的空间分布特征〔J〕.环境科学,2016,37(12):4 815－4 829.〔Liu Fang,Tashpolat Tiyip,Ilyas Nurmamat,et al. Spatial distribution characteristics of heavy metal pollution and health risk in soil around the coal industrial area of East Junggar Basin〔J〕. Environmental Science,2016,37(12):4 815－4 829.〕

〔10〕 夏楠,塔西甫拉提·特依拜,依力亚斯江·努尔麦麦提,等.卡拉麦里南部工业区梭梭和琵琶柴重金属空间分布及污染评价〔J〕.生态学报,2017,37(11):3 612－3 618.〔Xia Nan,Tashpolat Tiyip,Ilyas Nurmamat,et al. Heavy metal spatial distribution and contamination assessment of *Hadoxylon* and *Reaummuria soongorica* in an industrial area south of Kalamali〔J〕. Acta Ecologica Sinica,2017,37(11):3 612－3 618.〕

〔11〕 王幼奇,白一茹,王建宇.基于 GIS 的银川市不同功能区土壤重金属污染评价及分布特征〔J〕.环境科学,2016,37(2):710－716.〔Wang Youqi,Bai Yiru,Wang Jianyu. Distribution of urban soil heavy metal and pollution evaluation in different functional zones of Yinchuan City〔J〕. Environmental Science,2016,37(2):710－716.〕

〔12〕 王玉军,欧名豪.徐州农田土壤养分和重金属含量与分布研究〔J〕.土壤学报,2017,56(6):1 438－1 447.〔Wang Yujun,Ou Minghao. Contents and distribution of soil nutrients and heavy metal elements in farmlands of Xuzhou〔J〕. Acta Pedologica Sinica,2017,56(6):1 438－1 447.〕

〔13〕 Panov B S,Dudik A M,Shevcgenko O A,et al. On pollution of the biosphere in industrial areas:The example of the Donets Coal Basin〔J〕. International Journal of Coal Geology,1999,40(2):199－210.

〔14〕 张兆永,吉力力·阿不都外力,姜逢清.天山山地表层土壤重金属的污染评价及生态风险分析〔J〕.地球科学进展,2014,9(5):608－616.〔Zhang Zhaoyong,Jilili Abuduwaili,Jiang Fengqing. Assessment of heavy metal pollution in the soil of Tianshan Mountains and analysis of potential ecological risk〔J〕. Advances in Earth Science,2014,9(5):608－616.〕

〔15〕 魏文寿,何清,刘明哲,等.准噶尔盆地的气候变化与荒漠环境研究〔J〕.中国沙漠,2003,23(2):101－105.〔Wei Wenshou,He Qing,Liu Mingzhe,et al. Climate change and the desert environment in Junggar Basin,Xinjiang,China〔J〕. Journal of Desert Research,2003,23(2):101－105.〕

〔16〕 中国环境监测总站.中国土壤元素背景值〔M〕.北京:中国环境科学出版社,1990:330－482.〔Inspective Station of Environment of China. The Background Value of Soil Elements in China〔M〕. Beijing:China Environmental Science Press,1990:330－482.〕

〔17〕 成杭新,李括,李敏,等.中国城市土壤化学元素的背景值与基准值〔J〕.地学前缘,2014,21(3):265－306.〔Cheng Hangxin,Li Kuo,Li Min,et al. Geochemical background and baseline value of chemical elements in urban soil in China〔J〕. Earth Science Frontiers,2014,21(3):265－306.〕

〔18〕 程芳,程金平,桑恒春,等.大金山岛土壤重金属污染评价及相关性分析〔J〕.环境科学,2013,34(3):1 062－1 066.〔Cheng Fang,Cheng Jinping,Sang Hengchun,et al. Assessment and correlation analysis of heavy metals pollution in soil of Dajinshan Island〔J〕. Environmental Science,2013,34(3):1 062－1 066.〕

〔19〕 Nemerow N L. Stream,Lake,Estuary,and Ocean Pollution〔M〕. New York:Van Nostrand Reinhold,1985.

〔20〕郑海龙,陈杰,邓文靖,等. 南京城市边缘带化工园区土壤重金属污染评价〔J〕. 环境科学学报,2005,25(9):1 182 －1 188.〔Zheng Hailong,Chen Jie,Deng Wenjing,et al. Assessment of soil heavy metals pollution in the chemical industrial areas of Nanjing peri-urban zone〔J〕. Acta Scientiae Circumstantiae,2005,25(9):1 182 －1 188.〕

〔21〕Wilding L P. Spatial variability:Its documentation,accommodation and implication to soil surveys〔C〕//Nielsen D R,Bouma J. Soil Spatial Variability. Wageningen:PUDOC Publishers,1985:166 －194.

〔22〕麦麦提吐尔逊·艾则孜. 内陆河流域环境演变与生态安全〔M〕. 北京:北京理工大学出版社,2016.〔Mamattursun Eziz. Environmental Evolution and Ecological in Inner Basin〔M〕. Beijing:Beijing Institute of Technology Press,2016.〕

〔23〕陈志凡,王岩松,段海静,等. 开封黑岗口引黄灌区稻麦轮作下农田土壤剖面重金属分布特征〔J〕. 中国生态农业学报,2012,20(4):480 －487.〔Chen Zhifan,Wang Yansong,Duan Haijing,et al. Vertical distribution characteristics of heavy metals in agricultural soil profiles under rice-wheat system in Heigangkou Yellow River Irrigation Region〔J〕. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2012,20(4):480 －487.〕

〔24〕刘再冬,黄艺,陈莹,等. 攀枝花西区巴关河流域土壤剖面重金属元素形态分析研究〔J〕. 科学技术与工程,2015,15(3):79 －86.〔Liu Zaidong,Huang Yi,Chen Ying,et al. Heavy metal elements form analysis of soil profile in Baguanhe Basin Xiqu Panzhihua〔J〕. Science Technology and Engineering,2015,15(3):79 －86.〕

〔25〕Mamat Z,Yimit H,Ji R Z,et al. Source identification and hazardous risk delineation of heavy metal contamination in Yanqi basin,Northwest China〔J〕. Science of the Total Environment,2014,493:1 098 －1 111.

〔26〕王琪,刘禹含,杨景娜,等. 新疆伊犁土壤硒资源分布及与土壤性质的关系分析〔J〕. 农业资源与环境学报,2014,31(6):555 －559.〔Wang Qi,Liu Yuhan,Yang Jingna,et al. Analysis on the distribution of selenium resources and its relationships with soil properties of Ili District,Xinjiang Uygur Autonomous Region,China〔J〕. Journal of Agricultural Resources and Environment,2014,31(6):555 －559.〕

〔27〕张兆永,吉力力·阿不都外力,姜逢清. 天山土壤微量(类)重金属的来源解析及潜在生态危害评估〔J〕. 应用生态学报,2014,25(11):3 168 －3 176.〔Zhang Zhaoyong,Jilili Abuduwaili,Jiang Fengqing. Source identification and potential ecological hazards assessment of trace metalloid /heavy metals in the soil of Tianshan Mountains,Xinjiang,China〔J〕. Chinese Journal of Applied Ecology,2014,25(11):3 168 －3 176.〕

〔28〕姚峰,包安明,古丽·加帕尔,等. 新疆准东煤田土壤重金属来源与污染评价〔J〕. 中国环境科学,2013,33(10):1 821 －1 828.〔Yao Feng,Bao Anming,Guli Jiapaer,et al. Soil heavy metal sources and pollution assessment in the coalfield of East Junggar Basin in Xinjiang〔J〕. China Environmental Science,2013,33(10):1 821 －1 828.〕

〔29〕伊丽米热·阿布达力木,迪丽努尔·塔力甫,阿布力孜·伊米提. 乌鲁木齐市大气颗粒物中重金属浓度的分布特征〔J〕,环境科学与技术,2012,35(8):107 －111.〔Yilimire Abudalimu,Dilinuer Talipu,Abulizi Yimiti. Distribution characteristics of heavy metals concentration in atmospheric particles of Urumqi〔J〕. Environmental Science & Technology,2012,35(8):107 －111.〕

〔30〕韩秀凤,卢新卫,庞龙,等. 包头市街道灰尘重金属空间分布及生态风险〔J〕. 干旱区地理,2014,37(3):561 －569.〔Han Xiufeng,Lu Xinwei,Pang Long,et al. Spatial distribution and ecological risk of heavy metal instreet dust of Baotou City〔J〕. Arid Land Geography,2014,37(3):561 －569.〕

〔31〕文雯,侯振安,闵伟,等. 石河子垦区耕地土壤重金属调查及评价研究〔J〕. 新疆农业科学,2015,52(1):137 －144.〔Wen Wen,Hou Zhen'an,Min Wei,et al. Investigation and evaluation of heavy metals in farmland soil in Shihezi Reclamation Area〔J〕. Xinjiang Agricultural Sciences,2015,52(1):137 －144.〕

〔32〕王济,张浩,曾希柏,等. 贵阳市城区土壤重金属分布特征及污染评价〔J〕. 土壤,2010,42(6):928 －934.〔Wang Ji,Zhang Hao,Zeng Xibai,et al. Distribution and pollution assessment on heavy metals in urban soils of Guiyang〔J〕. Soils,2010,42(6):928 －934.〕

〔33〕张佩佩,武红旗,贾宏涛,等. 新疆砂质新成土的野外调查初步研究〔J〕. 土壤通报,2016,47(3):513 －517.〔Zhang Peipei,Wu Hongqi,Jia Hongtao,et al. Preliminary study on field survey of sandic primosols in Xinjiang〔J〕. Chinese Journal of Soil Science,2016,47(3):513 －517.〕

〔34〕魏复盛,陈静生,吴燕玉,等. 中国土壤环境背景值研究〔J〕. 环境科学,1991,12(4):12 －20.〔Wei Fusheng,Chen Jingsheng,Wu Yanyu,et al. Study on the background contents on the 61 elements of soils in China〔J〕. Environmental Science,1991,12(4):12 －20.〕

〔35〕李虎威,赵红超,牙生·吾甫尔,等. 新疆煤炭资源科学开采发展趋势与前景分析〔J〕. 煤炭工程,2017,49(6):20 －25.〔Li Huwei,Zhao Hongchao,Yasheng Wufuer,et al. Analysis on development trend and prospects of scientific mining for coal resources in Xinjiang〔J〕. Coal Engineering,2017,49(6):20 －25.〕

〔36〕Chen T B,Zheng Y M,Chen H,et al. Background concentrations of soil heavy metals in Beijing〔J〕. Environmental Science,2004,25(1):117 －122.

〔37〕周建民,党志,司徒粤,等. 大宝山矿区周围土壤重金属污染分布特征研究〔J〕. 农业环境科学学报,2004,23(6):1 172 －1 176.〔Zhou Jianmin,Dang Zhi,Situ Yue,et al. Distribution and characteristics of heavy metals contaminations in soils from Dabaoshan mine area〔J〕. Journal of Agro-environment Science,2004,23(6):1 172 －1 176.〕

〔38〕刘玉燕,刘敏,刘浩峰. 乌鲁木齐市城市土壤中重金属分布〔J〕. 干旱区地理,2006,29(1):120 －123.〔Liu Yuyan,Liu Min,Liu Haofeng. Distribution of heavy metal in urban soil of Urumqi City〔J〕. Arid Land Geography,2006,29(1):120 －123.〕

Evaluation and Their Sources of Heavy Metals in Uncultivated Saline-Alkaline Soil in the Junggar Basin, Xinjiang

MI Xiao-jun[1,2,3], REN Wen[1,2,3], LUO Qiong[1,2,3], MA Jian[1,2]

(1. *State Key laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi* 830011, *Xinjiang, China*;
2. *Fukang National Station of Desert Ecosystem Observation and Research, Chinese Academy of Sciences, Fukang* 831505, *Xinjiang, China*;
3. *University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*)

Abstract: The uncultivated saline-alkaline soil samples were collected from the Junggar Basin, Xinjiang. Seven kinds of heavy metals including Hg, Cd, Pb, Cr, Ni, As and Se in soil samples were examined. The multivariate statistical analysis and the pollution indexes were used in the survey, and the sources of heavy metals in different soil layers (0 – 20 cm and 20 – 40 cm in depth) were evaluated based on the soil background values of the heavy metals in Xinjiang (the soil background values of Se in Urumqi were adopted). The results showed that the average concentrations of Hg, Cd, Pb, Cr, Ni, As and Se in soil layer 0 – 20 cm in depth were 0.023, 0.165, 17.999, 62.587, 29.928, 16.325 and 0.696 $mg \cdot kg^{-1}$, and those in soil layer 20 – 40 cm in depth were 0.021, 0.148, 17.497, 61.091, 29.995, 17.384 and 0.634 $mg \cdot kg^{-1}$, respectively. Except for Pb, the contents of other elements were higher than the soil background values of the heavy metals in Xinjiang. The evaluation results of the single factor pollution index of each element in the study area were mainly pollution-free or slight pollution. The proportions of pollution-free and slight pollution of the seven elements in the two soil layers varied from 66.2% to 100% and from 74.7% to 100%, respectively. The Nemero comprehensive index showed that the slight pollution was dominant in the study area, and the proportions of the sites with slight pollution in the two soil layers were all 78.4%. The sources of heavy metal elements such as Cd, As and Se were mainly natural factors, which are mainly related to the composition and properties of soil parent materials. The sources of Cr, Pb and Hg were mainly affected by human factors. Heavy metals carried by industrial development, transportation and coal combustion fall into the soil, which is the main reason for the increase of background values of uncultivated and undamaged natural saline-alkaline soil. The source of Ni may be the result of human and natural factors.

Key words: saline-alkaline soil; soil heavy metal; background value; pollution evaluation; source analysis; Junggar Basin